

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-232662

(43)Date of publication of application : 05.09.1997

(51)Int.Cl. H01S 3/103
G02F 1/01
G02F 1/35

(21)Application number : 08-035190

(71)Applicant : KOKUSAI DENSHIN DENWA CO
LTD <KDD>

(22)Date of filing : 22.02.1996

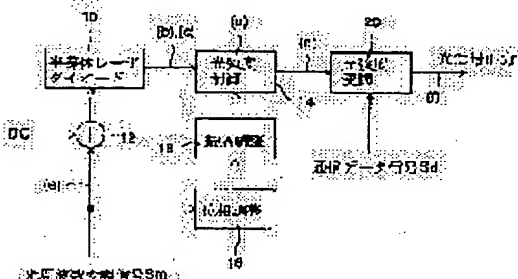
(72)Inventor : HORIUCHI YUKIO
YAMAMOTO SHU
AKIBA SHIGEYUKI

(54) LASER BEAM GENERATING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable laser beams outputted from a laser diode to be restrained from being modulated in intensity when the laser diode is subjected to frequency modulation.

SOLUTION: An adder 12 is made to add a light frequency modulation signal S_m to a direct-current voltage which enables a laser diode 10 to continuously oscillate laser beams to drive the laser diode 10. Laser beams outputted from the laser diode 10 are inputted into a light intensity controller 14. The light frequency modulation signal S_m is regulated in phase and amplitude by a phase control circuit 16 and an amplitude control circuit 18 and then applied as a control signal to the light intensity controller 14. The light intensity controller 14 serves, for instance, as an electric field absorption light modulator and is varied in transmittivity corresponding to the voltage output of the control circuit 18. The circuits 16 and 18 are so set in adjustment value as to enable a variation in the transmittivity of the light intensity controller 14 to restrain the light output of the laser diode 10 from being varied in intensity.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

11.07.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-232662

(43) 公開日 平成9年 (1997) 9月5日

(51) Int. Cl. 6	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/103			H 0 1 S 3/103	
G 0 2 F 1/01			G 0 2 F 1/01	B
1/35	5 0 1		1/35 5 0 1	

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 14 頁)

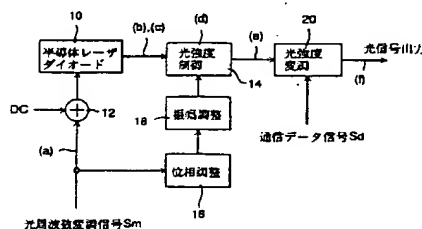
(21) 出願番号	特願平8-35190	(71) 出願人	000001214 国際電信電話株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目3番2号
(22) 出願日	平成8年 (1996) 2月22日	(72) 発明者	堀内 幸夫 東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電信 電話株式会社内
		(72) 発明者	山本 周 東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電信 電話株式会社内
		(72) 発明者	秋葉 重幸 東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電信 電話株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 田中 常雄

(54) 【発明の名称】 レーザ光発生装置

(57) 【要約】

【課題】 レーザ・ダイオードを光周波数変調することによる出力光の強度変調を抑圧する。

【解決手段】 加算器12は、レーザ・ダイオード10を連続レーザ発振させる直流電圧に光周波数変調信号S_mを加算し、レーザ・ダイオード10を駆動する。レーザ・ダイオード10の出力光は光強度制御器14に入力する。光周波数変調信号S_mは位相調整回路16及び振幅調整回路18により位相及び振幅を調整され、制御信号として光強度制御器14に印加される。光強度制御器14は例えば、電界吸収型光変調器であり、回路18の出力電圧に応じて透過率が変動する。回路16、18の調整量は、光強度制御器14の透過率変動がレーザ・ダイオード10の出力光の強度変動を抑圧するように、設定される。



11 E - 2
SE199-46
PC7

・【特許請求の範囲】

・【請求項1】 光周波数変調信号 S_m を重畳された駆動信号により連続レーザ発振するレーザ光源と、実質的に当該光周波数変調信号 S_m に従い、当該レーザ光源の出力光に含まれる光強度変動を抑圧する光強度変動抑圧手段とからなることを特徴とするレーザ光発生装置。

【請求項2】 上記光強度変動抑圧手段が、上記光周波数変調信号 S_m の位相及び振幅の少なくとも一方を調整する位相／振幅調整手段と、当該位相／振幅調整手段の出力信号に従い上記レーザ光源の出力光の強度を制御し、もって、当該レーザ光源の出力光に含まれる光強度変動を抑圧する光強度制御手段とからなる請求項1に記載のレーザ光発生装置。

【請求項3】 上記光強度変動抑圧手段が、更に、上記光強度制御手段の出力光に残存する、上記光周波数変調信号 S_m による光強度変動成分を検出する残留変動検出手段と、当該残留変動検出手段の出力信号と上記光周波数変調信号 S_m との相関を検出する相関検出手段と、当該相関検出手段により検出される相関度に応じて、上記位相／振幅調整手段の振幅調整量を制御する振幅制御手段とを具備する請求項2に記載のレーザ光発生装置。

【請求項4】 上記光強度制御手段が、外部制御信号により増幅利得を制御自在な光増幅手段である請求項2又は3に記載のレーザ光発生装置。

【請求項5】 上記光強度制御手段が、外部制御信号により減衰率を制御自在な光透過手段である請求項2又は3に記載のレーザ光発生装置。

【請求項6】 上記光強度制御手段が、電界吸収型光変調器、マッハツェンダ干渉型変調器、光フィルタ、光減衰器、半導体レーザ増幅器、及び光ファイバ増幅器の何れかである請求項2又は3に記載のレーザ光発生装置。

【請求項7】 更に、上記光強度変動抑圧手段の出力光をデータ信号 S_d により変調する光変調手段を具備する請求項1乃至6の何れか1項に記載のレーザ光発生装置。

【請求項8】 光周波数変調信号 S_m を重畳された駆動信号により連続レーザ発振するレーザ光源と、当該光周波数変調信号 S_m の位相及び振幅の少なくとも一方を調整する位相／振幅調整手段と、当該位相／振幅調整手段により位相／振幅調整された当該光周波数変調信号 S_m とデータ信号 S_d を合成する合成手段と、当該合成手段の出力に従い当該レーザ光源の出力光を変調し、もって、当該レーザ光源の出力光に含まれる光強度変動を抑圧すると共に、当該データ信号 S_d により強度変調した光信号を出力する光変調手段とからなるレーザ光発生装置。

【請求項9】 更に、上記光変調手段の出力光に残存する、上記光周波数変調信号 S_m による光強度変動成分を検出する残留変動検出手段と、当該残留変動検出手段の出力信号と当該光周波数変調信号 S_m との相関を検出す

る相関検出手段と、当該相関検出手段により検出される相関度に応じて、上記位相／振幅調整手段の振幅調整量を制御する振幅制御手段とを具備する請求項8に記載のレーザ光発生装置。

【請求項10】 上記光変調手段が、外部制御信号により増幅利得を制御自在な光増幅手段である請求項8又は9に記載のレーザ光発生装置。

【請求項11】 上記光変調手段が、外部制御信号により入力光の減衰率を制御自在な光透過手段である請求項8又は9に記載のレーザ光発生装置。

【請求項12】 上記光変調手段が、電界吸収型光変調器、マッハツェンダ干渉型変調器、光フィルタ、光減衰器、半導体レーザ増幅器及び光ファイバ増幅器の何れかである請求項8又は9に記載のレーザ光発生装置。

【請求項13】 上記合成手段が、当該位相／振幅調整手段の出力信号に上記データ信号 S_d を乗算する乗算手段と、当該乗算手段の出力に上記光変調手段の作動点を規定するバイアスを加算する加算手段とからなる請求項8乃至12の何れか1項に記載のレーザ光発生装置。

【請求項14】 上記合成手段が、当該位相／振幅調整手段の出力信号に上記光変調手段の作動点を規定するバイアス、及び、上記データ信号 S_d を加算する加算手段である請求項8乃至12の何れか1項に記載のレーザ光発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、レーザ光発生装置に関し、より具体的には、光周波数変調されたレーザ光を発生するレーザ光発生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 光ファイバ伝送システム、特に無中継伝送システムでは、伝送距離（中継伝送システムの場合には、中継距離）を長くするために光ファイバへの入力光パワーを高くしたい。しかし、レーザ光のパワーが高くなると、誘導ブリルアン散乱（SBS）による伝送特性の劣化が顕著になり、結果的に光ファイバへの入力パワーを高く出来ない問題点がある。誘導ブリルアン散乱が影響しない入力パワーの閾値は、一般的な光ファイバで約5mWと言われている。

【0003】 これに対しては、例えば単一周波数のトーンでレーザ光（搬送波）を周波数変調することにより、この閾値を高くできることが知られている。例えば、最も簡単には、半導体レーザ・ダイオードの注入電流を微小変調すると、半導体レーザ・ダイオードの共振器内の屈折率が変化するので、半導体レーザ・ダイオードの発振光の周波数が注入電流に含まれる変調信号に応じて変化する。光周波数変移量を大きくするには、注入電流に重畳する変調信号の振幅を大きくする必要がある。

【0004】 ところが、半導体レーザ・ダイオードの注入電流を微小変調する方式では、光周波数変調だけでな

く強度変調も発生し、その強度変調成分が伝送特性を劣化（直接的には、伝送損失とエラー・レートを増加）させる。例えば、L. Eskildsen, et al., "Residual amplitude modulation suppression using deeply saturated Erbium-doped fiber amplifiers", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 7, no. 12, pp. 1516-1518, 1995) には、約8 GHzの光周波数変移量を得るように半導体レーザ・ダイオードへの注入電流を微小変調すると、約4.2%程度の光強度変調成分が生じる、と記載されている。アイ・パターンが、同文献の図4(a)に示すように劣化する。

【0005】このような強度変調成分を抑圧する手段として、同文献には、エルビウム添加光増幅ファイバの応答特性を利用する技術が説明されている。即ち、DFBレーザ・ダイオードを連続レーザ発振させながら5 kHz乃至10 kHzで微小変調し、その出力光を、飽和特性の深いエルビウム添加光増幅ファイバに入力する。そのエルビウム添加光増幅ファイバは、3 dBカットオフ周波数を25 kHz程度に設定される。エルビウム添加光増幅ファイバの応答特性のスロー部分により、5 kHz乃至10 kHzの強度変調成分が抑圧される。なお、光周波数変移量は約8 GHzであり、光増幅後の光パワーは約200 mWである。強度変調成分を抑圧しない場合に、約3.5 dBの伝送ペナルティであったものが、強度成分を抑圧することで、伝送ペナルティを0.2~1.0 dBに改善できたとしている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、同文献に記載されるような構成では、レーザ・ダイオードの変調周波数が10 kHz以下、最大でも25 kHzに制限されてしまう。誘導ブリルアン散乱による伝送特性の劣化を安定に補償するには、より高い周波数が好ましいとされており、このような要望に対応できない。

【0007】また、エルビウム添加光増幅ファイバをほとんど飽和させた状態で利用するために6台もの励起光源(Pump1~Pump6)を使用しなければならず、不経済である。飽和光出力パワーが200 mW以上であり、この様な高いパワーを必要としない場合が普通にあるからである。

【0008】本発明は、このような問題点を解決し、光強度変動の無い又は少ないレーザ光を出力するレーザ光発生装置を提示することを目的とする。

【0009】本発明は更に、不要な光強度変動を低減した光通信用又は計測用のデータ変調光信号を発生するレーザ光発生装置を提示することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明では、光周波数変

調信号Smにより光周波数変調及び強度変調されたレーザ光源の出力光を、電界吸収型光変調器又は光増幅器などを使用した光強度変動抑圧手段に導く。そして、その光強度変動抑圧手段の利得又は減衰率を実質的に当該光周波数変調信号Smによって、当該レーザ光源の出力光の強度変動を抑圧するように制御する。これにより、当該レーザ光源の出力光の強度変動を効率的に抑圧でき、光周波数変調され、且つ光強度変動の少ない又は無い光搬送波を得ることができる。この出力光信号は、通信用又は計測用として有用である。

【0011】位相/振幅調整手段及び光強度制御手段により、光周波数変調信号Smの位相及び振幅の少なくとも一方を調整した信号に従って当該レーザ光源の出力光の強度を制御するようにすることで、より高い精度で光強度変動を抑圧できる。

【0012】また、残留変動検出手段及び相関検出手段により、強度変動抑圧後の残留分を検出して光周波数変調信号Smとの相関を検出し、得られた相関度に応じて位相/振幅調整手段の振幅調整量を制御する。これにより、例えば、光周波数変調信号Smの振幅が変動したりしても、強度変動抑圧後の残留分を最小に自動制御できる。

【0013】光強度制御手段としては、外部制御信号により増幅利得を制御自在な光増幅手段、又は、外部制御信号により減衰率を制御自在な光透過手段であり、具体的には、電界吸収型光変調器、マッハツェンダ干渉型変調器、光フィルタ、光減衰器、半導体レーザ増幅器又は光ファイバ増幅器等である。

【0014】本発明ではまた、レーザ光源を光周波数変調する光周波数変調信号Smから得られる信号とデータ信号Sdとを合成(乗算又は加算)した信号により、当該レーザ光源の出力光を強度変調する。これにより、光周波数変調されているが光強度変動の少ない光搬送波を得ることができ、同時に、同じ素子でデータ信号Sdで変調するので、良品質な光信号が得られる。強度変動の抑圧とデータ信号Sdによる変調を1つの光変調手段で行なえるので、経済的である。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0016】図1は、本発明の一実施例の概略構成ブロック図、図2は各部の波形を示す。10は半導体レーザ・ダイオードであり、加算器12は、レーザ・ダイオード10を連続レーザ発振させる所定の直流バイアスに、浅い光周波数変調信号(正弦波交流信号)Smを重畳し、駆動電流としてレーザ・ダイオード10に印加する。なお、光周波数変調信号Smの周波数は、計測用としてはDC又は数Hz~数MHzであるが、SBS抑圧用としては数kHz~数MHzである。図2(a)は、レーザ・ダイオード10の駆動電流の波形を示す。レー

・ザ・ダイオード10はこの駆動電流により駆動されて、強度変調され且つ光周波数変調されたレーザ光を出力する。図2(b)は、レーザ・ダイオード10の出力光の強度変動波形を示し、図2(c)は、レーザ・ダイオード10の出力光の光周波数変動波形を示す。

【0017】レーザ・ダイオード10の出力光は光強度制御器14に印加される。光強度制御器14は、入力光の強度を電氣的に外部制御自在な光素子であり、具体的には、半導体レーザ増幅器及び光ファイバ増幅器のように利得を電氣的に外部制御できる光素子、並びに、電界吸収型光変調器、マッハツェンダ干渉型変調器及び光減衰器のように減衰量を電氣的に外部制御できる光素子からなる。なお、光ファイバ増幅器ではポンプ光の光量を制御することで、増幅利得を制御する。また、光フィルタの波長透過特性のスロープ部を利用し、中心波長を外部から変更することで、減衰量を制御するようにしたものでもよい。本実施例では、光強度制御器14として、電界吸収型光変調器を採用した。幅広い周波数に対応でき、後述するようにデータ信号Sdによる変調にも併用できるからである。電界吸収型光変調器の特性を図3に示す。横軸は陰極への印加電圧(制御電圧)、縦軸は透過率(対数)である。図3に示すように、電界吸収型光変調器は、制御電圧に対して指数関数的に透過率が変化する。

【0018】位相調整回路16は、光周波数変調信号Smを位相調整して、振幅調整回路18に印加する。位相調整回路16は、レーザ・ダイオード10の出力光の強度変動成分と光強度制御器14による強度変動の抑圧効果の位相を合わせるために挿入される、いわゆる遅延回路である。振幅調整回路18は、位相調整回路16の出力を振幅調整(及び必要により位相反転)すると共に所定のバイアスを加えて、制御信号として光強度制御器14に印加する。

【0019】振幅調整回路18の出力信号により、光強度制御器14の透過率は、図2(d)に示すように、光周波数変調信号Smに同期し且つ振幅調整回路18の出力電圧に応じた振幅で変動し、レーザ・ダイオード10の出力レーザ光の強度変動を相殺する。換言すると、振幅調整回路18は、光強度制御器14の透過特性がレーザ・ダイオード10の出力レーザ光の強度変動を相殺するように変化するように、位相調整回路16の出力信号の振幅を調整する。

【0020】光強度制御器14の出力光の強度変化を図2(e)に示す。図2(e)に示すように、光強度制御器14により、レーザ・ダイオード10の出力光の強度変動成分はほぼゼロとなり、光強度制御器14の出力光強度は、時間に対してほぼ一定となる。

【0021】光強度変調器20は、光強度制御器14の出力光を、通信用データ信号Sdに従ってオン/オフ変調する。通信用データ信号Sdの周波数は、数100M

Hz以上である。通信用とはいっても、伝送特性等の計測に使用する場合には、計測のためのデータ信号でもありうることはいうまでもない。光強度変調器20はたとえば、電界吸収型光変調器からなる。光強度変調器20の出力光波形を図2(f)に示す。

【0022】次に、光周波数変調に伴う強度変調成分の抑圧と通信用データ信号Sdによる変調を同一の光変調器で実行する実施例を説明する。図4は、その実施例の概略構成ブロック図を示す。

10 【0023】図4において、30は、光周波数変調信号Smを2つに分岐する分岐回路であり、分岐回路30の一方の出力は所定遅延量の遅延回路32を介して加算器34に印加される。加算器34は、連続レーザ発振に必要な直流電圧に遅延回路32の出力(光周波数変調信号Sm)を加算し、駆動電流として半導体レーザ・ダイオード36に印加する。分岐回路30の他方の出力は、所定遅延量の遅延回路38を介して振幅調整回路40に印加される。なお、分岐回路30から遅延回路32又は同38に供給される信号は、必要により、光周波数変調信号Smを位相反転した信号である。位相反転するかしないかは、レーザ・ダイオード36の出力光の強度変動成分を抑圧するのにどちらが好ましいかに依存する。

20 【0024】振幅調整回路40は可変抵抗器及びOPアンプ等を用いた利得可変回路であり、遅延回路38の出力信号を利得調整し、その出力は乗算器42の一方の入力に印加される。乗算器42の他方の入力には通信用データ信号Sdが印加されており、乗算器42は、通信用データ信号Sdに利得調整回路40の出力(位相調整された光周波数変調信号Smを振幅調整した信号)に乗算し、その乗算結果は、加算器44に印加される。即ち、乗算器42は振幅変調回路として機能する。通信用データ信号Sdは、'1'が+Va(ボルト)、'0'が-Va(ボルト)となるような2値の電圧信号である。

30 【0025】加算器44は、乗算器42の出力に所定の直流バイアスを加算し、制御電圧として電界吸収型光変調器46の制御端子(陰極)に印加する。電界吸収型光変調器46には半導体レーザ・ダイオード36の出力光が入力されている。電界吸収型光変調器46は、加算器44の出力電圧に従ってその透過率が変動し、これにより、レーザ・ダイオード36の出力光を加算器44の出力電圧に従って強度変調する。

40 【0026】加算器44で加算されるバイアス値は、乗算器42の出力信号の全部又はほぼ全部が一方の極性(例えば、マイナス側)になるように設定される。加算器44で加算されるバイアス値はたとえば、-Va(ボルト)である。また、通信用データ信号Sdの振幅2Vaは、電界吸収型光変調器46の、透過率がほとんどゼロになる印加電圧に設定される。光周波数変調信号Sm、通信用データ信号Sd並びに乗算器42及び加算器44の出力の各波形を図5に示し、電界吸収型光変調器

・46の入出力特性図を図6に示す。

【0027】図6からも分かるように、加算器44の出力電圧の、 $-V_a$ (ボルト) 付近の変動(特に、光周波数変調信号 S_m に同期した変動)は、電界吸収型光変調器46の透過率が充分低い箇所ではその透過率を僅かに変動させるだけであるので、レーザ・ダイオード36の出力光に対する影響は極く少ない。他方、加算器44の出力電圧が0ボルト付近のときには、電界吸収型光変調器46の透過率が高く、且つその変化率も大きいので、加算器44の出力電圧の、0ボルト付近の変動は、レーザ・ダイオード36の出力光に対する影響が大きい。具体的には、レーザ・ダイオード36の出力光に含まれる強度変調成分は、加算器44の出力のゼロ・ボルト付近の、光周波数変調信号 S_m の周波数の変動成分による電界吸収型光変調器46の透過率変動により抑圧される。また、レーザ・ダイオード36の出力光の直流成分は、同時に、加算器44の出力に含まれる通信用データ信号 S_d に対応する成分により強度変調される。

【0028】このようにして、電界吸収型光変調器46の出力光は、通信用データ信号 S_d によりオン/オフ変調され、且つ、光周波数変調信号 S_m の光周波数変調によりレーザ・ダイオード36の出力光に含まれる強度変調成分を抑圧されたものになっており、一定の安定した消光比を得ることが出来る。ある実験では、レーザ・ダイオード36の出力光に含まれる強度変調成分を1/10に抑圧できた。この程度の抑圧でも、十分に伝送特性を改善できる。

【0029】遅延回路32、38の遅延量及び振幅調整回路40における振幅調整量は、使用される光周波数変調信号 S_m に応じて、電界吸収型光変調器46での強度変動抑圧効果が最大になるように、予め調整される。レーザ・ダイオード36の出力光の強度変動と、電界吸収型光変調器46での強度変動の抑圧タイミングとの兼ね合いで、遅延回路32、38の一方のみを設けるだけで済むことは明らかである。

【0030】図4に示す実施例では、光周波数変調信号 S_m を位相・振幅調整した信号で通信用データ信号 S_d を振幅変調したが、両信号を加算しても、同様の作用効果を得ることができる。即ち、乗算器42の代わりに、加算器を使用してもよい。その変更実施例の概略構成ブロック図を図7に示す。図4と同じ構成要素には同じ符号を付してある。

【0031】加算器48は、振幅調整回路40の出力電圧に、電界吸収型光変調器46の動作点を決定するバイアス電圧(例えば、 V_a (ボルト))を加算し、加算器50は、加算器48の出力電圧に通信用データ信号 S_d を加算する。加算器50の出力は、電界吸収型光変調器46の制御端子(陰極)に印加される。振幅調整された光周波数変調信号 S_m に通信用データ信号 S_d を加算してからバイアス電圧を加算してもよいことは明らかであ

る。図7に示す構成でも、電界吸収型光変調器46は図4の場合と全く同様に機能し、電界吸収型光変調器46の出力光は、通信用データ信号 S_d によりオン/オフ変調され、且つ、光周波数変調信号 S_m の光周波数変調によりレーザ・ダイオード36の出力光に含まれる強度変調成分を抑圧されたものになっている。

【0032】なお、電界吸収型光変調器46の透過率特性は図3に図示したようになりかなり非線形である。そこで、図7に示す実施例で、例えば、加算器48の出力を、電界吸収型光変調器46の非線形な透過率特性を補償するように変換して加算器50に印加する変換回路を設けてもよい。このような変換回路を設けることで、電界吸収型光変調器46における強度変動抑圧効果を更に効果あるものにできる。

【0033】図1、図4及び図7に示す各実施例では、半導体レーザ・ダイオード10、36の出力光の強度変動を、光周波数変調信号 S_m をそのまま使用して抑圧しているが、半導体レーザ・ダイオード10、36の出力光の強度変動成分をフォトダイオードなどで検出・抽出し、その出力を光周波数変調信号 S_m の代わりに使用してもよい。レーザ・ダイオード10、36から2つのレーザ出力が得られる場合に有益であり、また、光周波数変調信号 S_m に対するレーザ光の強度変動度を加味できるという利点がある。このような構成も、実質的には、光周波数変調信号 S_m に従って光強度変動を抑圧していることに他ならない。

【0034】次に、光周波数変調信号 S_m の振幅が変化したりしても、強度変動抑圧後の残存変動量を最小に自動制御する実施例を説明する。図8は、その実施例の概略構成ブロック図を示す。

【0035】図8を詳細に説明する。光周波数変調信号 S_m は分岐回路60により2分割され、分岐回路60の一方の出力は分岐回路62により更に2分割される。分岐回路62の一方の出力は、所定遅延量の遅延回路64を介して加算器66に印加され、他方の出力は遅延回路76に印加される。加算器66には更に、半導体レーザ・ダイオード68を連続レーザ発振させる直流電圧が印加されており、加算器66はその直流電圧に遅延回路64の出力電圧を加算する。加算器66の出力電流が駆動電流として半導体レーザ・ダイオード68に印加される。これにより、半導体レーザ・ダイオード68は、連続レーザ発振しつつ、光周波数変調信号 S_m により光周波数変調及び強度変調される。

【0036】分岐回路60の別の出力は、所定遅延量の遅延回路70を介して乗算器72に印加される。乗算器72の他方の入力には、半導体レーザ・ダイオード68の出力光の強度変動を抑圧した後の残留強度変動成分を示す信号(具体的には、後述する受光器86の出力)が印加されており、両入力を乗算して両入力の相関を検出する。即ち、乗算器72の出力は、光周波数変調信号 S

mと強度変動抑圧後の残留成分との相関度を示しており、乗算器72は相関検出器として機能する。即ち、乗算器72の相関出力信号は、その大きさが残留強度成分の量を示し、その極性が強度変動抑圧の過不足の方向を示す。

【0037】分岐回路60、62からそれぞれ遅延回路70、76に供給される信号は、必要により分岐回路60、62の入力信号を位相反転した信号になっている。

【0038】積分回路74が乗算器72の出力を積分し、積分回路74の出力は乗算器78の乗算係数制御端子に印加される。積分回路74により、相関度（乗算器72の出力）の変動が平滑化・積分される。乗算器78には、分岐回路62の別の出力が所定遅延量の遅延回路76を介して印加されている。乗算器78は、積分回路74の出力電圧及び極性に応じた大きさの係数を、遅延回路76の出力（即ち、光周波数変調信号Smを遅延回路76の遅延量だけ遅らせた信号）に乘算する。即ち、乗算器78は、積分回路74の出力電圧が正方向で大きければより大きい乗算係数を、積分回路74の出力電圧が負方向で大きければより小さい乗算係数を、遅延回路76の出力に乘算する。乗算器78は振幅調整手段として機能し、積分回路74は当該振幅調整手段（乗算器78）の振幅調整量を制御する振幅制御手段として機能する。

【0039】乗算器78の出力は加算器80に印加される。加算器80には他に、電界吸収型光変調器82の作動点を決定するバイアス電圧が印加されている。加算器80は、そのバイアス電圧に乗算器78の出力を加算して、電界吸収型光変調器82の制御端子（陰極）に印加する。なお、この実施例では、電界吸収型光変調器82は、半導体レーザ・ダイオード68の出力光の強度変動を抑圧する目的で使用されるので、加算器80で加算されるバイアス電圧はゼロ・ボルトでもよい。

【0040】このようにして、電界吸収型光変調器82の透過率は、レーザ・ダイオード68の出力光の強度変動を相殺するように変動する。透過率変動の振幅は、強度変動抑圧後の残留量（具体的には乗算器72の出力）に依存し、強度変動抑圧後の残留量が少なくなる方向に制御される。積分回路74の出力信号は、相関信号（乗算器72の出力）がゼロ、即ち、残留強度成分が最低になるレベルに収束する。電界吸収型光変調器82の透過率の変動の位相が、半導体レーザ・ダイオード68の出力光の強度変動を打ち消す位相になるようになるように、遅延回路64、76の遅延量が予め設定されるのは、図4の場合と同じである。なお、遅延回路64、70、76の内の少なくとも1つを省略できることは、明らかである。

【0041】光分波器84は電界吸収型光変調器82の出力光を2つに分波し、一方を受光器86に、他方を電界吸収型光変調器88に印加する。受光器86は、光分

波器84からの光信号（即ち、電界吸収型光変調器82から出力される光信号）を電気信号に変換する。受光器86の出力電気信号は、電界吸収型光変調器82による半導体レーザ・ダイオード68の出力光の強度変動抑圧の残存量を反映している。受光器86の出力は乗算器72に印加され、上述のように光周波数変調信号Smとの相関検出に利用される。受光器86の出力と遅延回路70の出力で位相が合うように、遅延回路70の遅延量が予め設定される。

10 【0042】図9、図10及び図11は、図8に示す実施例の各部の波形図であって、図9は強度変動の抑圧不足の場合、図10は最適制御の場合、図11は抑圧し過ぎの場合を、それぞれ示す。図9、図10及び図11で、(a)は光周波数変調信号Sm、(b)は半導体レーザ・ダイオード68の出力光強度、(c)は電界吸収型光変調器82の透過特性、(d)は電界吸収型光変調器82の出力光、(e)は乗算器72の相関出力である。

20 【0043】例えば、電界吸収型光変調器82による強度変動抑圧効果が低い場合は図9の状態であり、電界吸収型光変調器82の出力光には、レーザ・ダイオード68の出力光の強度変動と同位相の強度変動が残っている。従って、受光器86の出力には、光周波数変調信号Smと同位相であって強度変動の残留量に応じた振幅の信号成分があり、乗算器72の相関出力は、図9(e)に示すように、強度変動の残留量に応じた正電圧値になる。その結果、積分回路74の出力電圧は正方向に大きくなり、乗算器78は遅延回路76の出力に大きな係数を乗算する。乗算器78の出力の振幅が大きくなると、30 電界吸収型光変調器82の透過率の変動の振幅も大きくなり、半導体レーザ・ダイオード68の出力光の強度変動をより強く抑圧する。このようにして、電界吸収型光変調器82の出力光に残る強度変動が小さくなるように、即ち、図10に示す状態に向かうように、電界吸収型光変調器82が制御される。

40 【0044】逆に、電界吸収型光変調器82による強度変動抑圧効果が効き過ぎている場合は、図11の状態であり、電界吸収型光変調器82の出力光には、半導体レーザ・ダイオード68の出力光の強度変動とは逆位相の強度変動が残留する。従って、受光器86の出力には、光周波数変調信号Smと逆位相であって、強度変動の残留量に応じた振幅の信号成分があり、乗算器72の相関出力は、図11(e)に示すように、強度変動の残留量に応じた大きさの負値になる。乗算器78は積分回路74の出力に応じて、遅延回路76の出力に最適状態よりも小さい係数を乗算する。これにより、電界吸収型光変調器82の透過率変動の振幅が小さくなり、電界吸収型光変調器82の過剰であった強度変動抑圧効果が弱くなる。このようにして、図11に示すような過剰制御状態でも、電界吸収型光変調器82の出力光に残る強度変

・動が小さくなるように、即ち、図10に示す状態に向かうように電界吸収型光変調器82が制御される。

・【0045】このように、電界吸収型光変調器82は、上述の制御ループ構成により半導体レーザ・ダイオード68の出力光の強度変動を最小するように制御されており、電界吸収型光変調器82の出力光は、図10(d)に示すように、時間に対してほぼ一定になる。

【0046】電界吸収型光変調器88の制御端子（陰極）には、通信用データ信号Sdが印加されており、電界吸収型光変調器88は、光分波器84からの光信号を通信用データ信号Sdにより変調する。

【0047】図8に示す実施例では、乗算器72による相関検出の基準信号として、光周波数変調信号Smそのものを使用した。半導体レーザ・ダイオード68の出力光の強度変動成分を図示しない受光器で検出及び抽出し、相関検出の基準信号としてもよい。その場合、半導体レーザ・ダイオード68の出力光から抽出した強度変動成分信号を、乗算器72及び乗算器78の被乗算信号としてもよい。このような構成は、光強度変動の原因となる光周波数変調信号Sm又は光強度変動を示す電気信号を得るのが不可能又は困難な場合に特に有益であり、図8に示す実施例と同様の作用効果を得ることができる。

【0048】図8に示す実施例を変形し、1つの電界吸収型光変調器で強度変動の抑圧と通信用データ信号Sdによる変調の両方を同時に実行するようにした変更実施例を説明する。図12はその変更実施例の概略構成ブロック図を示す。

【0049】図12に示す実施例を説明する。光周波数変調信号Smは分岐回路110により2分割され、分岐回路110の一方の出力は分岐回路112により更に2分割される。分岐回路112の一方の出力は、所定遅延量の遅延回路114を介して加算器116に印加され、分岐回路112の別の出力は遅延回路126に印加される。加算器116には更に、半導体レーザ・ダイオード118を連続レーザ発振させる直流電圧が印加されており、加算器116はその直流電圧に遅延回路114の出力電圧を加算する。加算器116の出力電流が駆動電流として半導体レーザ・ダイオード118に印加される。これにより、半導体レーザ・ダイオード118は、連続レーザ発振しつつ、光周波数変調信号Smにより光周波数変調及び強度変調される。

【0050】分岐回路110の別の出力は、所定遅延量の遅延回路120を介して乗算器122に印加される。乗算器122の他方の入力には、半導体レーザ・ダイオード118の出力光の強度変動を抑圧した後の残留成分を示す信号（具体的には、後述する受光器138の出力）が印加されており、両入力を乗算して両入力の相関を検出する。即ち、乗算器122の出力は、光周波数変調信号Smと強度変動抑圧後の残留成分との相関度を示

しており、乗算器122は相関検出器として機能する。

【0051】分岐回路110、112からそれぞれ遅延回路120、126に供給される信号は、必要により分岐回路110、112の入力信号を位相反転した信号になっている。

【0052】積分回路124が乗算器122の出力を積分し、積分回路124の出力は乗算器128の乗算係数制御端子に印加される。積分回路124により、相関度の変動が平滑化・積分される。乗算器128には、分岐回路112の別の出力が所定遅延量の遅延回路126を介して印加されており、乗算器128は、積分回路124の出力電圧及び極性に応じた大きさの係数を、遅延回路126の出力（即ち、光周波数変調信号Smを遅延回路126の遅延量だけ遅らせた信号）に乗算する。即ち、乗算器128は、積分回路124の出力電圧が正方向で大きければより大きい乗算係数を、積分回路124の出力電圧が負方向で大きければより小さい乗算係数を、遅延回路126の出力に乗算する。乗算器128は振幅調整手段として機能し、積分回路124は当該振幅調整手段（乗算器128）の振幅調整量を制御する振幅制御手段として機能する。

【0053】乗算器128の出力は乗算器130の一方の入力に印加される。乗算器130の別の入力には、通信用データ信号Sdが印加される。乗算器130は、通信用データ信号Sdを乗算器128の出力で振幅変調した信号を出力する。加算器132は乗算器130の出力に、電界吸収型光変調器134の作動点を決定するバイアス電圧を加算する。乗算器130及び加算器132の作用は、図4の乗算器42及び加算器44の作用と同じである。ここでも、例えば、通信用データ信号Sdは、'1'が+Va（ボルト）、'0'が-Va（ボルト）となるような2値の電圧信号であり、加算器132で加算されるバイアス電圧は、例えば、-Va（ボルト）である。

【0054】加算器132の出力電圧は、電界吸収型光変調器134の制御端子（陰極）に印加される。電界吸収型光変調器134には半導体レーザ・ダイオード118の出力光が入力されている。電界吸収型光変調器134は、加算器132の出力電圧に従ってその透過率が変動し、これにより、レーザ・ダイオード118の出力光を加算器132の出力電圧に従って強度変調する。電界吸収型光変調器134は図4に示した実施例の電界吸収型光変調器46と全く同様に動作する。即ち、レーザ・ダイオード118の出力光に含まれる強度変動成分は、加算器132の出力のゼロ・ボルトに近い側での、光周波数変調信号Smの周波数の変動成分による電界吸収型光変調器134の透過率変動により抑圧される。また同時に、レーザ・ダイオード118の出力光の直流成分が、加算器132の出力に含まれる通信用データ信号Sdに対応する成分により強度変調される。

【0055】このようにして、電界吸収型光変調器134の出力光は、通信用データ信号Sdによりオン/オフ変調され、且つ、光周波数変調信号Smの光周波数変調によりレーザ・ダイオード118の出力光に含まれる強度変調成分を抑圧されたものになっており、一定の安定した消光比を得ることが出来る。

【0056】遅延回路114、120、126の遅延量は、レーザ・ダイオード118の出力光の強度変動の位相と、その強度変動を抑圧する電界吸収型光変調器134の透過率変動の位相が合致するように、また、乗算器122による相関検出と乗算器128による振幅調整が適切なものとなるように、予め調整される。何れかの遅延回路114、120、126を省略できることは明らかである。

【0057】光分波器136は電界吸収型光変調器134の出力光を2つに分波し、一方を受光器138に、他方を光ファイバ等の光伝送路に出力する。受光器138は、光分波器136からの光信号（即ち、電界吸収型光変調器134から出力される光信号）を電気信号に変換する。受光器138の出力電気信号は、電界吸収型光変調器134による半導体レーザ・ダイオード118の出力光の強度変動抑圧の残存量と通信用データ信号Sdを反映しているが、ここでは、半導体レーザ・ダイオード118の出力光の強度変動抑圧の残存量のみが必要なので、受光器138として通信用データ信号Sdの周波数に無関係な低速の受光素子を使用する。又は、高速の受光素子を使用し、その出力からローパス・フィルタ又はバンドパス・フィルタにより光周波数変調信号Smの周波数成分のみを抽出する。Sm以外の不要成分を除去することにより、光強度変動抑圧制御系の動作の安定化を図ることが出来る。

【0058】受光器138の出力は乗算器122に印加され、乗算器72と同様に、光周波数変調信号Smとの相関検出に利用される。受光器138の出力と遅延回路120の出力で位相が合うように、遅延回路120の遅延量が予め設定される。

【0059】光分波器136、受光器138、乗算器122、積分回路124、乗算器128、乗算器130及び加算器132からなるループは、電界吸収型光変調器134における強度変動抑圧効果を、その残留分が最小になるように制御する。この作用は、図8に示す実施例の光分波器84、受光器86、乗算器72、積分回路74、乗算器78及び加算器80からなる制御ループの作用と実質的に同じである。

【0060】図12に示す実施例では、乗算器122による相関検出の基準信号として、光周波数変調信号Smそのものを使用した。半導体レーザ・ダイオード118の出力光の強度変動成分を図示しない受光器により検出・抽出し、相関検出の基準信号としてもよい。その場合、半導体レーザ・ダイオード118の出力光から抽出

した強度変動成分信号を、乗算器128の被乗算信号としてもよい。このような構成は、光強度変動の原因となる光周波数変調信号Sm又は光強度変動を示す電気信号を得るのが不可能又は困難な場合に特に有益であり、図12に示す実施例と同様の作用効果を得ることができる。

【0061】図12に示す実施例では、光周波数変調信号Smを位相・振幅調整した信号で通信用データ信号Sdを振幅変調したが、両信号を加算しても、同様の作用効果を得ることができる。即ち、乗算器130の代わりに、加算器を使用してもよい。その変更実施例の概略構成ブロック図を図13に示す。図12と同じ構成要素には同じ符号を付してある。

【0062】加算器140は、乗算器128の出力電圧に、電界吸収型光変調器134の動作点を決定するバイアス電圧（例えば、 $-V_a$ （ボルト））を加算し、加算器142は、加算器140の出力電圧に通信用データ信号Sdを加算する。加算器140の出力は、電界吸収型光変調器134の制御端子（陰極）に印加される。図13に示す実施例でも、電界吸収型光変調器134は図12の場合と全く同様に機能し、電界吸収型光変調器134の出力光は、通信用データ信号Sdによりオン/オフ変調され、且つ、光周波数変調信号Smの光周波数変調によりレーザ・ダイオード118の出力光に含まれる強度変動成分を抑圧されたものになっている。

【0063】加算器140（バイアス電圧の加算）は、加算器142の出力側に配置してもよい。また、電界吸収型光変調器134の非線形性を補償する変換回路を乗算器128又は加算器140の出力段に接続し、電界吸収型光変調器134の透過率変動が半導体レーザ・ダイオード118の出力光の強度変動にマッチするように、電界吸収型光変調器134の制御信号（強度変動抑圧制御信号）の振幅変化を補償しておけば、強度変動抑圧効果を更に高めることができる。

【0064】通信用レーザ光を得ることを念頭に説明したが、本実施例により得られるレーザ光は、計測用としても利用できることは明らかである。即ち、本願発明によれば、光周波数変調されているが光強度が一定に維持されたレーザ光を得ることができ、このようなレーザ光を使用する種々の用途に利用できる。

【0065】

【発明の効果】以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、レーザ光源の光周波数変調に起因する強度変動を安定的且つ効果的に抑圧できる。また、光周波数変調周波数をより高くすることができる。

【0066】上述の文献に記載される光ファイバ増幅器を利用する方法に比べ、より安価に実現できる。特に、通信用又は計測用等のデータ信号の変調器と共用することにより、より高品質の光信号をより経済的に得ることができる。

・【0067】光周波数変調されているが光強度変動の少ない又は無い光搬送波、若しくはデータ信号により変調された信号が得られるので、ハイパワー光伝送システム、特に無中継光伝送システムの実現と長距離化に寄与できる。

【0068】また、本発明に係る装置は、通信用以外にも計測用その他の用途に利用できることは明らかである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例の概略構成ブロック図である。

【図2】 図1に示す実施例の各部の波形を示す図である。

【図3】 電界吸収型光変調器の特性図である。

【図4】 本発明の第2実施例の概略構成ブロック図である。

【図5】 光周波数変調信号Sm、通信用データ信号Sd並びに乗算器42及び加算器44の出力の各波形を示す図である。

【図6】 電界吸収型光変調器46の入出力特性を示す図である。

【図7】 図4に示す実施例を変更した第3実施例の概略構成ブロック図である。

【図8】 本発明の第4実施例の概略構成ブロック図である。

【図9】 図8に示す実施例で強度変動の抑圧不足の場合の波形図である。

【図10】 図8に示す実施例で最適制御の場合の波形図である。

【図11】 図8に示す実施例で抑圧し過ぎの場合の波形図である。

【図12】 本発明の第5実施例の概略構成ブロック図である。

【図13】 本発明の第6実施例の概略構成ブロック図である。

【符号の説明】

10：半導体レーザ・ダイオード

12：加算器

14：光強度制御器

16：位相調整回路

18：振幅調整回路

20：光強度変調器

30：分岐回路

32：遅延回路

34：加算器

36：半導体レーザ・ダイオード

38：遅延回路

40：振幅調整回路

42：乗算器

44：加算器

46：電界吸収型光変調器

48：加算器

10 50：加算器

60：分岐回路

62：分岐回路

64：遅延回路

66：加算器

68：半導体レーザ・ダイオード

70：遅延回路

72：乗算器

74：積分回路

76：遅延回路

20 78：乗算器

80：加算器

82：電界吸収型光変調器

84：光分波器

86：受光器

88：電界吸収型光変調器

110：分岐回路

112：分岐回路

114：遅延回路

116：加算器

30 118：半導体レーザ・ダイオード

120：遅延回路

122：乗算器

124：積分回路

126：遅延回路

128：乗算器

130：乗算器

132：加算器

134：電界吸収型光変調器

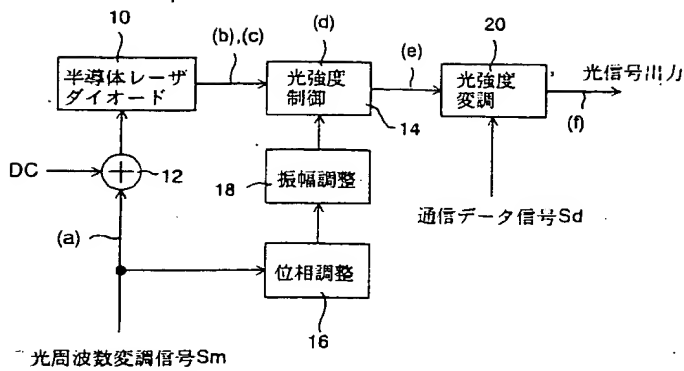
136：光分波器

40 138：受光器

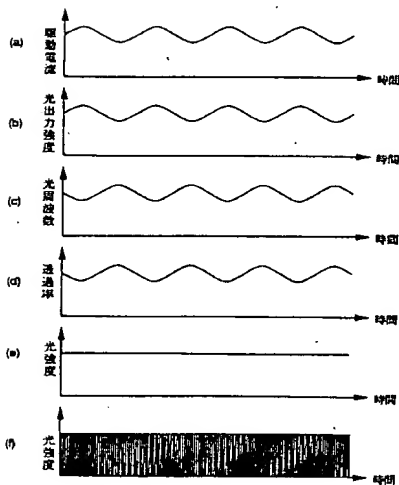
140：加算器

142：加算器

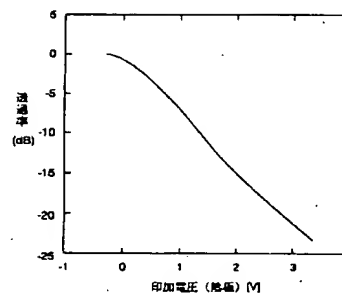
【図1】



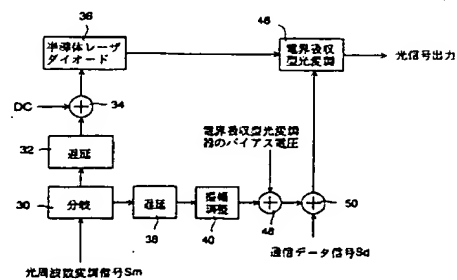
【図2】



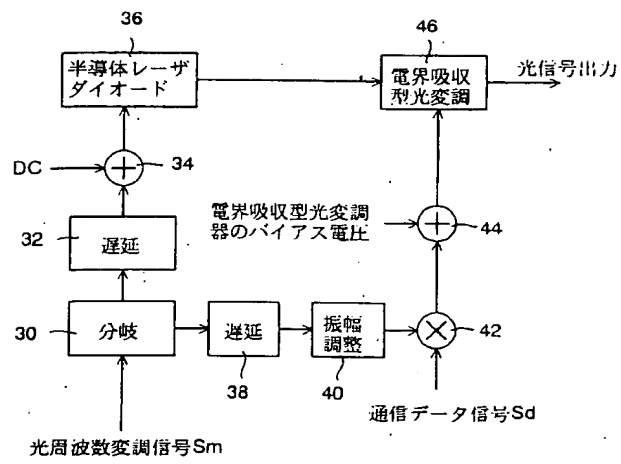
【図3】



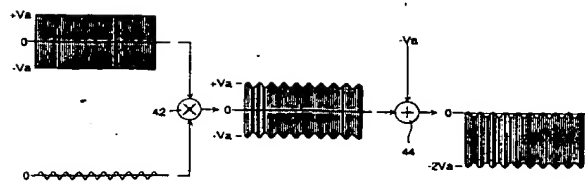
【図7】



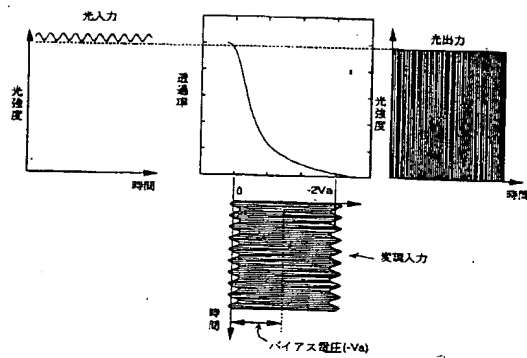
【図4】



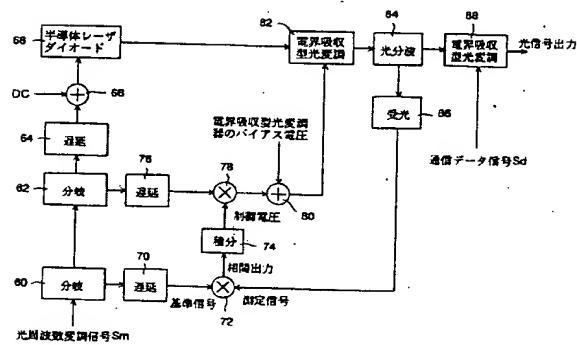
【図5】



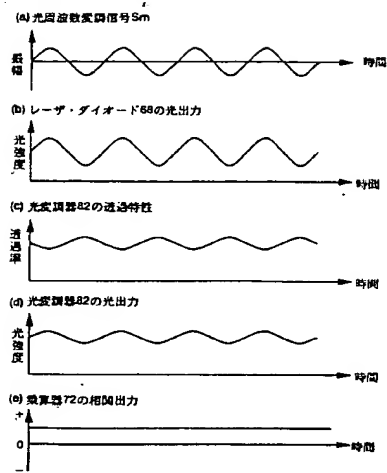
【図6】



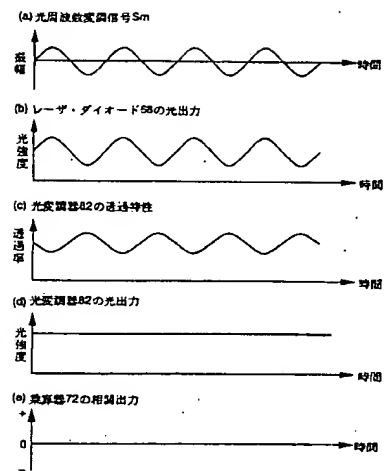
【図8】



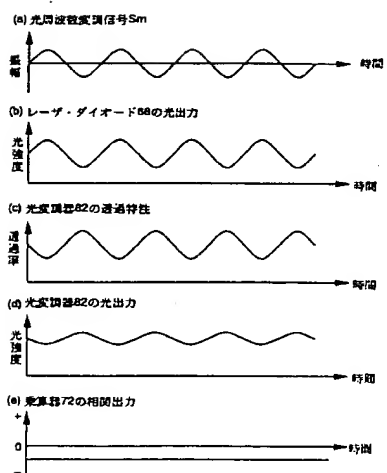
【図9】



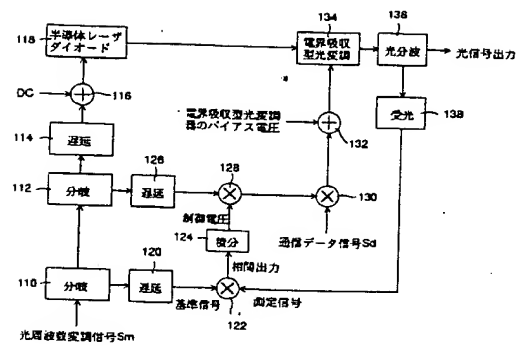
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

